

Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение
высшего образования
«СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

Институт космических и информационных технологий

институт

Вычислительная техника

кафедра

УТВЕРЖДАЮ
Заведующий кафедрой

_____ Н.О. Непомнящий
подпись инициалы, фамилия
« _____ » _____ 2018 г.

МАГИСТЕРСКАЯ ДИССЕРТАЦИЯ

MESH-сети с использованием одноплатных микрокомпьютеров

Тема

09.04.01 "Информатика и вычислительная техника"

код и наименование направления

09.04.01.05 "Сети ЭВМ и телекоммуникации"

код и наименование магистерской программы

Научный
руководитель

подпись, дата

доцент, канд. техн. наук
должность, ученая степень

Ф. А. Казаков
инициалы, фамилия

Выпускник

подпись, дата

А. Е. Носырев
инициалы, фамилия

Рецензент

подпись, дата

доцент, канд. техн. наук
должность, ученая степень

Ю. А. Маглинец
инициалы, фамилия

Нормоконтролер

подпись, дата

В. И. Иванов
инициалы, фамилия

Красноярск 2018

СОДЕРЖАНИЕ

Введение.....	4
1 Анализ технического задания.....	5
1.1 Обоснование выбранных средств разработки.....	6
1.1.1 Mesh-сети.....	6
1.1.1 Протокол 802.11s.....	6
1.1.2 Область применения mesh-сетей.....	9
1.1.3 Протоколы для организации Wi-Fi Mesh	10
1.2 Резюме о необходимости проведения своих исследований	12
1.3 Обзор современного состояния	12
1.4 Одноплатные микрокомпьютеры	13
1.5 Сравнительный анализ аналогов	14
1.5.1 Ubiquiti AmpliFi HD Mesh Router	14
1.5.2 Cisco Aironet 1500	15
1.6 Альтернативные источники питания (электричества).....	16
1.6.1 Виды	17
1.6.2 Ветроэнергетика.....	18
1.6.3 Гелиоэнергетика.....	19
1.6.4 Гидроэнергетика.....	21
1.6.5 Биоэнергетика.....	23
1.7 Вывод по главе	24
2 Проектирование системы	26
2.1 Выбор подходящего сетевого протокола	26
2.2 Выбор подходящего одноплатного микрокомпьютера.....	26
2.3 Операционная система	27
2.4 Режим AD НОС	27
2.5 DHCP сервер.....	29
2.6 Требования для работоспособности Mesh сети	30
2.7 Вывод по главе	31
3 Подготовка и настройка устройства к использованию	32

3.1 Запись образа на карту памяти	32
3.1.1 Создание загрузочной MicroSD из Windows.....	32
3.1.2 Создание загрузочной MicroSD из Mac OS.....	32
3.1.3 Создание загрузочной MicroSD из Ubuntu OS.....	33
3.2 Настройка устройства.....	33
3.2.1 Первый Запуск устройства.....	33
3.2.2 Установка и настройка сетевого протокола SSH.....	34
3.2.3 Настройка внешнего Wi-Fi адаптера	34
3.2.4 Настройка DHCP сервера.....	35
3.2.5 Настройка B.A.T.M.A.N. Advanced.....	36
4 Тестирование системы.....	39
4.1 Критерии оценки работоспособности устройства.....	39
4.2 Проведение эксперимента.....	39
Заключение	45
Список использованных источников	46

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире информация представляет огромную ценность, а её своевременное получение представляет задачу первостепенной важности. Для доступа к ней и создания глобального информационного пространства используются компьютерные сети передачи данных. В условиях постоянно растущих требований к сетям передачи данных происходит и развитие средств доступа к ней. Задача обеспечения скоростного доступа к глобальным сетям на большой области является одним из важнейших направлений развития современных сетей. Именно поэтому огромное внимание сейчас уделяется развитию беспроводных средств доступа. Беспроводные сети позволяют создавать сетевую инфраструктуру в различных условиях без сложностей, присущим проводным сетям. Изначально беспроводные сети не обладали достаточной скоростью и территорией охвата. Улучшение методов кодирования и использование других частот позволило улучшить скоростные характеристики, однако ничего принципиально нового предложено не было. По причине всё растущей популярности беспроводного доступа к локальным и глобальным сетям возросла актуальность разработки новых технологий беспроводного доступа, какой является технология реализации беспроводных mesh-сетей, отвечающих дополнению стандарта 802.11 – 802.11s. Mesh-сети позволяют увеличивать область беспроводного покрытия за счёт вовлечения самих узлов, передающих данные, в процесс маршрутизации. Это позволяет сократить количество необходимых точек доступа и увеличить территорию беспроводного доступа.

В данной магистерской диссертации было предложено разработать устройство для построения MESH сетей с использованием одноплатного микрокомпьютера.

1 Анализ технического задания

Целью данной работы является разработка устройства для построения MESH сетей с использованием одноплатного микрокомпьютера. Реализация поставленной цели обусловлена необходимостью решения следующих задач:

- Изучение рынка программных продуктов, выявление сильных и слабых сторон,
- Исследование рынка микрокомпьютеров;
- Исследование альтернативных источников питания
- Разработка устройства для построения MESH сетей с использованием одноплатного микрокомпьютера;

1.1 Обоснование выбранных средств разработки

1.1.1 Mesh-сети

Mesh-сети – перспективный класс широкополосных беспроводных сетей передачи мультимедийной информации, который в ближайшие годы найдет широкое применение в локальных и распределенных городских беспроводных сетях (альтернатива WiMAX), в мультимедийных сенсорных сетях и т.д. Один из главных принципов построения mesh-сети – самоорганизации архитектуры, обеспечивающий такие возможности, как топология сети "каждый с каждым"; устойчивость при отказе отдельных компонентов; масштабируемость сети – увеличение зоны информационного покрытия в режиме самоорганизации; динамическая маршрутизация трафика, контроль состояния сети и т.д. Mesh-сети могут быть стационарными или мобильными (все или часть узлов способны перемещаться). Узлами мобильной сети могут быть карманные ПК, мобильные телефоны и т.п. Mesh-сети описывает стандарт IEEE 802.11s, изменения в котором практически не затрагивают физический уровень. Все нововведения относятся к MAC-подуровню канального уровня. Кроме того, в стандарте 802.11s рассматриваются вопросы маршрутизации пакетов в рамках mesh-сети (фактически – сетевой и транспортный уровни модели OSI), что выходит за изначальные рамки IEEE 802.11 [2].

1.1.2 Протокол 802.11s

В существующих сетях стандарта 802.11 терминальные (абонентские, конечные) станции (STA) связаны с точками доступа (Access Point – AP) и могут взаимодействовать только с ними. AP имеют выход в другие сети (например, Ethernet), но не могут обмениваться информацией друг с другом (рисунок 1).

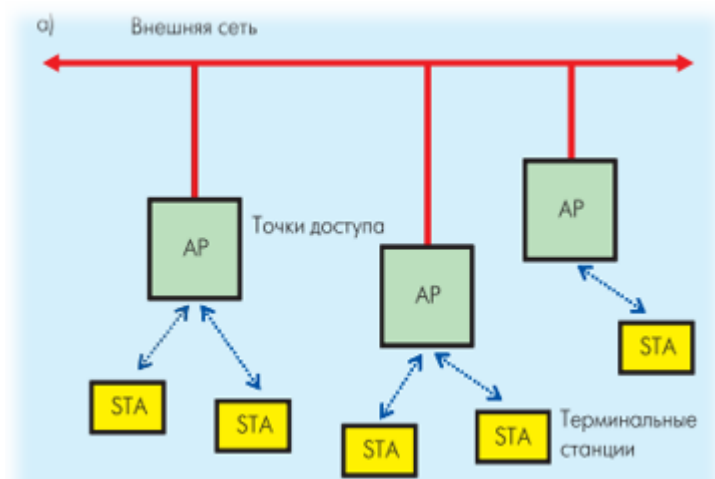


Рисунок 1 - стандарт 802.11

В mesh- сети, помимо терминальных станций и точек доступа, присутствуют особые устройства – узлы mesh-сети (Mesh Point – MP), способные взаимодействовать друг с другом и поддерживающие mesh службы (рисунок 2).

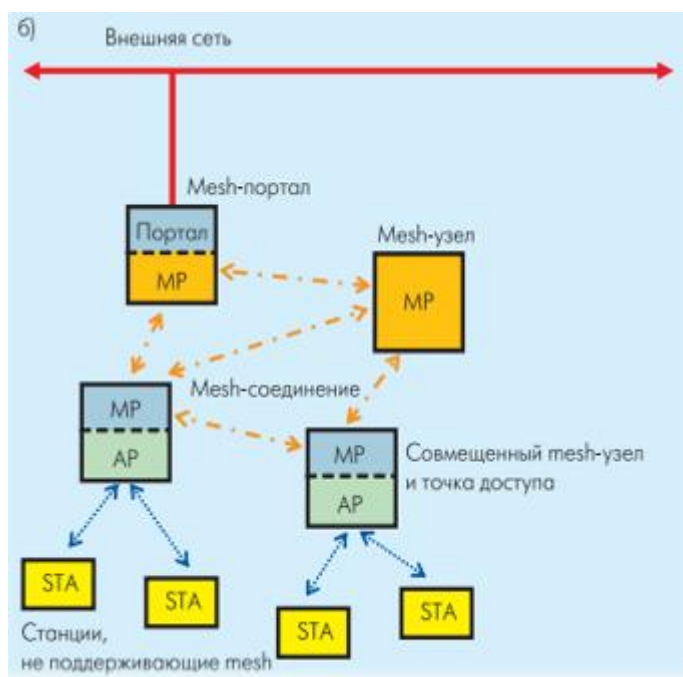


Рисунок 2 - узлы mesh-сети

Одно устройство может совмещать несколько функций. Так, узлы mesh-сети, совмещенные с точками доступа, называются точками доступа mesh-сети (Mesh Access Point, MAP). Порталы mesh-сети (Mesh Point Portal, MPP), являясь МР, соединяют mesh-сеть с внешними сетями. Таким образом, mesh-сеть с точки зрения других устройств и протоколов более высокого уровня функционально эквивалентна широковещательной Ethernet-сети, все узлы которой непосредственно соединены на канальном уровне. Отметим, что изменения в стандарте IEEE 802.11s практически не затрагивают физический уровень. Все нововведения относятся к MAC-подуровню канального уровня. Кроме того, в стандарте 802.11s рассматриваются вопросы маршрутизации пакетов в рамках mesh-сети (фактически – сетевой и транспортный уровень модели OSI), что выходит за изначальные рамки IEEE 802.11. Вопросы маршрутизации пакетов в mesh-сетях мы рассмотрим в следующей публикации, сосредоточившись в данной работе на особенностях MAC-уровня [10].

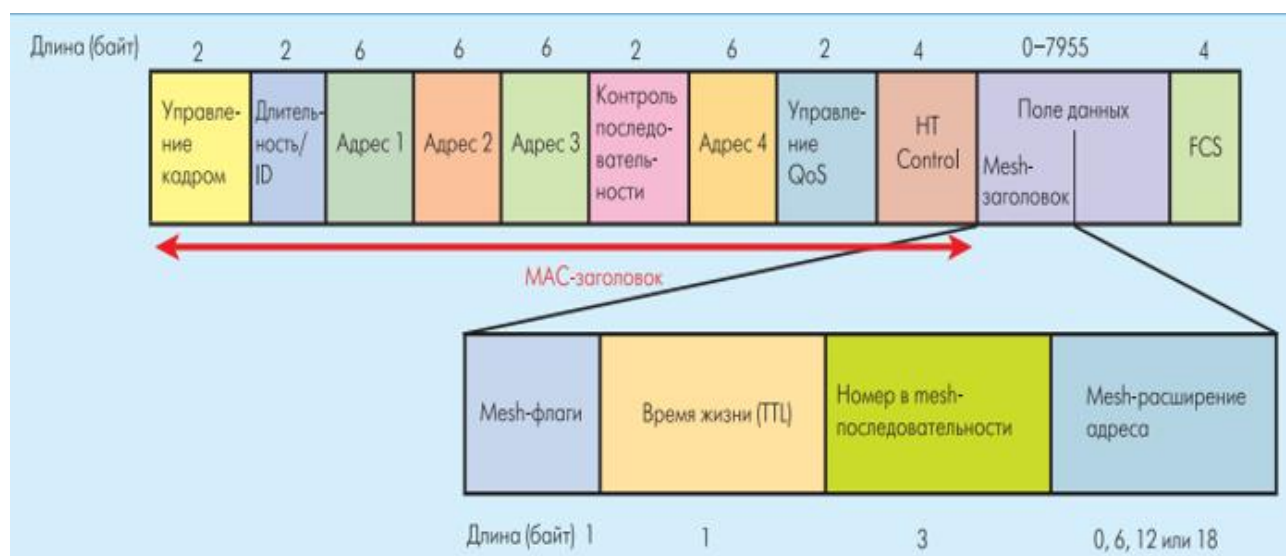


Рисунок 3 - Структура пакетов MAC-уровня в mesh-сети

1.1.2 Область применения mesh-сетей

Беспроводные технологии доступа позволяют решить проблему доставки услуг абоненту. Эта задача может быть реализована с использованием двух перспективных систем, системы уровня района – Wi-Fi Mesh, системы городского масштаба – WiMAX. WiMAX является централизованной системой, основанной на создании базовых станций, которые концентрируют трафик с определенного сектора в одной точке. Однако при использовании этой технологии мобильность абонентских устройств почти отсутствует. Технология Mesh (стандарт IEEE 802.11s) позволяет полностью децентрализовать архитектуру сети и увеличить зону ее действия. Цель разработки стандарта IEEE 802.11s – обеспечение автоматической маршрутизации между узлами сети Wi-Fi, в которой каждый узел для передачи информации способен задействовать соседние, используя прыжковый (multi-hop) механизм перераспределения трафика и не более 5 % пропускной способности канала. Стандарт IEEE 802.11s регламентирует протоколы обнаружения, идентификации и установления соединения между соседними устройствами. Совокупность устройств, работающих в сети по стандарту IEEE 802.11s, образует mesh-сеть. Таким образом, реализуется концепция постепенного роста и захвата новых территорий города с помощью распределенной сети. Начав развитие сети в одной точке, в идеале можно неограниченно увеличивать зону ее действия, просто добавляя новые устройства. Прокладки дополнительных коммуникаций не требуется. Системы WiMAX и Wi-Fi Mesh имеют различный подход к построению городской сети – от глобального охвата до постепенного развития. Они должны дополнять друг друга, а не конкурировать между собой. WiMAX предназначена обеспечивать транспорт данных в районе сосредоточения абонентов, а Wi-Fi Mesh должна выполнять охват обособленных, например «спальных», микрорайонов. Высокая мобильность mesh сетей позволяет их использовать в специфических ситуациях, например для создания системы связи между ключевыми объектами городской инфраструктуры, развёртывание сети для экстренных служб в местах, где нет

свободного доступа к глобальной сети. Плюсы такой реализации очевидны: все мобильные объекты имеют возможность быть на связи независимо от их местоположения, скорости передвижения и т.д. А быстрое оповещение в такой сети обеспечит быстрое реагирование, а соответственно и более высокий уровень безопасности [3,4]. Пример использования такой сети приведен на рисунке 4.

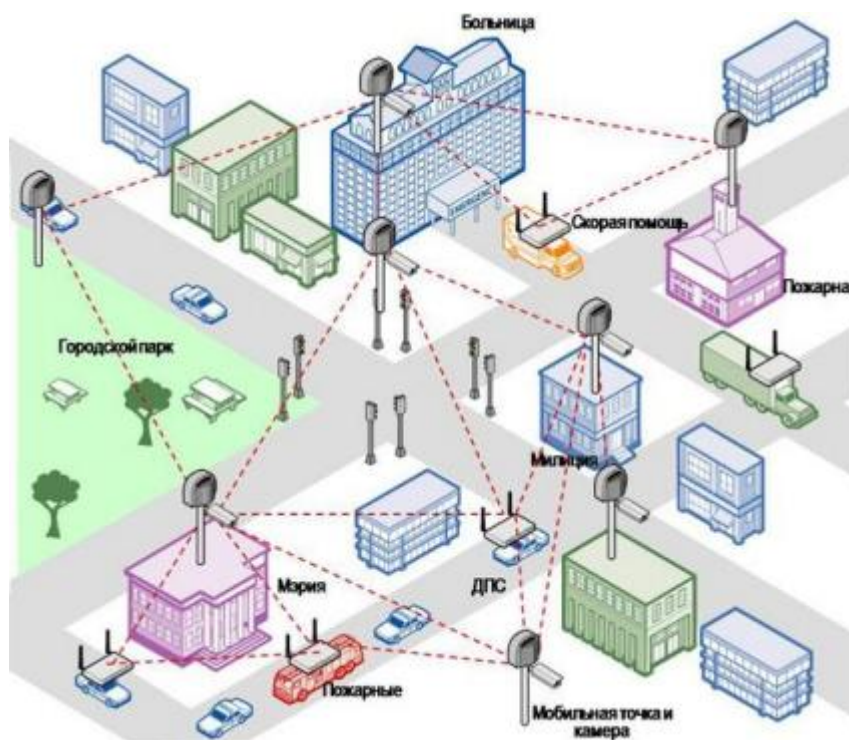


Рисунок 4- Городская инфраструктура, соединенная между собой mesh-сетью

1.1.3 Протоколы для организации Wi-Fi Mesh

В настоящее время самые популярные протоколы для организации Wi-Fi Mesh сетей это:

- CJDNS
- B.A.T.M.A.N.
- DTN
- Netsukuku

- OSPF

У каждого есть свои плюсы и минусы, с которыми вы можете ознакомиться в таблице сравнения (таблица 1):

Таблица 1 - Сравнительная таблица Mesh протоколов

	CJDNS	B.A.T.M.A.N.	DTN	Netsukuku	OSPF
Авто-назначение адреса	Да	Нет	Нет	Да	Нет
Авто-конф. Маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Распределенная маршрутизация	Да	Да	Да	Да	Частично
Объединение сетей	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
IPv4/v6	IPv6	IPv4/v6	IPv4/v6	IPv4	IPv4
Шифрование трафика внутри сети	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Авто-настройка	Да	Да	Да	Нет	Да
Разработка	Активная	Закончена	Активная	Нет	Закончена
Поддержка UNIX\Linux\OpenWRT	Да	Да	Да	Да	Да
Поддержка Windows	В разработке	Нет	Нет	Нет	Нет
Поддержка Mac OS X	Да	Да	Да	Да	Да
Потребление ресурсов	Низкое	Низкое	Низкое	Высокое	Низкое
Оверлейны режим работы	Да	Нет	Нет	Нет	Нет
Интеграция в ядро Linux	Нет	Да	Нет	Нет	Да

Авто-назначение адреса — клиент сам выбирает себе адрес и может не менять его, переходя из одной под сети в другую, нет единого центра выдачи адресов

Авто-конф. Маршрутизация — нет необходимости вручную настраивать маршрутизацию в сети

Распределенная маршрутизация — узлы обмениваются информацией о маршрутизации

Объединение сетей — умеет объединять сети через обычный интернет

IPv4/v6 — по какому протоколу работает сеть

Авто-настройка — позволяет пользоваться сетью без установки какого-либо другого ПО

Разработка — статус разработки сети

Поддержка OS — какие операционные системы могут быть полноценными участниками сети

1.2 Резюме о необходимости проведения своих исследований

В преддверии зимней универсиады 2019 появляется необходимость оборудовать доступом в интернет все площадки, на которых будут проводиться различные мероприятия и соревнования. Протягивать вдоль лыжной трассы кабеля с интернетом и питанием для обычных wi-fi роутеров дело затратное как по времени, так и финансово. К тому же витая пара без дополнительных повторителей без потерь может протягиваться всего 100 метров. В моей магистерской диссертации предложено собрать устройство на основе одноплатного микрокомпьютера для облечения покрытия любой зоны wi-fi доступом. Но для начала требуется выяснить, какой интернет протокол может удовлетворить мои требования, такие как универсальность и простота настройки. Так же необходимо выбрать одноплатный микрокомпьютер, который был бы оптимален по таким показателям как универсальность, компактность, производительность, цена, качество.

1.3 Обзор современного состояния

Данная тема неоднократно затрагивалась в научных статьях, так как тема MESH сетей достаточно обширна и интересна.

Евсеева О. Ю. в 2014 году написала статью “Модель маршрутизации и распределения канальных ресурсов WiMax Mesh-сети” в журнале Радиотехника. Данная статья посвящена задачам сетевого уровня, основными из которых с точки зрения влияния на результирующее качество обслуживания пользователей и эффективность использования ресурсов беспроводной сети связи являются задачи маршрутизации.

В 2016 году Гусс С.В. в Научном журнале Математические структуры и моделирование написал статью о самоорганизующиеся mesh-сети для частного использования в которой рассматриваются особенности самоорганизующихся mesh-сетей, приводятся необходимые определения и пояснения, выделяются

главные характеристики [1]. Проведённый анализ задач организации частной mesh-сети установил необходимость создания оптимальной математической модели самоорганизующейся сети, созданной с учётом имеющихся в данной области стандартов, руководств и рекомендаций.

Так же в 2016 году Петренко Ю.Н. в своей статье на английском языке рассказывает каким образом были реализованы разные каналы радио беспроводной связи, подключенные к точке доступа (AP) в рамках БелорусскоКитайского проекта индустриального парка «Большой Камень», который является территориальным образованием площадью около 80 кв. Км с особым правовым статусом для предоставления комфортных условий для ведения бизнеса.

1.4 Одноплатные микрокомпьютеры

В настоящее время одноплатные микрокомпьютеры пользуются все большим спросом в виду их компактности, удобства и возможности использовать в системах, где обычные компьютеры или ноутбуки не подходят по причине своей "громоздкости" и высокой цены. Зачастую проектируемые системы не требуют высокой производительности, которые свойственны ПК и ноутбукам и в случаях, когда Вам приходится прибегать к их использованию, Вы сильно переплачиваете за неиспользуемые вычислительные мощности.

В таких ситуациях, упомянутые выше микрокомпьютеры, по совокупным показателям "цена + качество + аппаратные характеристики", становятся идеальным решением.

Ниже приведена таблица со сводной информацией аппаратных характеристик популярных в настоящее время одноплатных микрокомпьютеров с возможностью установки Linux систем.

Таблица 2 – Сравнительная таблица одноплатных микрокомпьютеров

	Banana Pi M3	Raspberry PI3	Orange PI PLUS 2E	Cubieboard5
Частота ЦПУ	1 ГГц	1.2 ГГц	1.6 ГГц	2.0 ГГц
Количество ядер	8	4	4	8
Память	2 GB DDR3	1 GB DDR2	2 GB DDR3	2 GB DDR3
Ethernet	10/100/1000M RJ-45	10/100M RJ-45	10/100/1000M RJ-45	10/100/1000M RJ-45
Wi-Fi	802.11 b/g/n	802.11n	802.11 b/g/n	802.11 b/g/n
Storage	MicroSD	MicroSD	MicroSD / 16GB EMMC	MicroSD / 8GB EMMC
Питание	5V@2A via MiroUSB	5V@2A via MiroUSB	5V@2A via DC	5V@2A via DC
Вес	48 Грамм	45 Грамм	83 Грамм	425 Грамм
Цена	8000 руб.	3500 руб.	2500-4000 руб	6200 руб

1.5 Сравнительный анализ аналогов

На рынке уже существуют готовые устройства для построения Mesh-сетей, но представленные системы имеют большую стоимость, ограниченный функционал. В основном это системы, производимые зарубежными компаниями, по отечественным разработкам информации найти не удалось.

1.5.1 Ubiquiti AmpliFi HD Mesh Router



Рисунок 5 - Ubiquiti AmpliFi HD Mesh Router

Ubiquiti AmpliFi HD Mesh Router (рисунок 5) маршрутизатор произведенный американской компанией Ubiquiti Networks. Цена маршрутизатора составляет 9500 рублей, но для построения Mesh-сети необходимо отдельно докупать репитеры Ubiquiti AmpliFi HD Meshpoint. Цена каждого репитера составляет 8130 рублей. Устройство AmpliFi HD не имеет гигабитные порты Ethernet. Также, данное устройство нельзя использовать в уличных условиях.

1.5.2 Cisco Aironet 1500



Рисунок 6 - Cisco Aironet 1500

Серия "облегченных" трехстандартных (802.11a/b/g точек доступа Cisco Aironet 1500 (рисунок 6), работающих в полносвязных (mesh) сетях совмещает в себе высокую безопасность, надежность и простоту развертывания для Wi-Fi сетей как внутри, так и вне помещений.

Cisco Aironet 1500 работает совместно с контроллерами беспроводного доступа Cisco и системой управления Cisco Wireless Control System (WCS), что позволяет осуществлять "бесшовный" роуминг во всей беспроводной сети, обнаруживать и блокировать неавторизованные точки доступа и т.п.

Данная серия точек доступа специально разработана для максимально простого развертывания в полносвязных сетях и позволяет производить автоматическую настройку при добавлении точки в беспроводную сеть или изменении топологии сети. Cisco Aironet 1500 поддерживает все современные протоколы безопасности, включая Wi-Fi Protected Access 2 (WPA2), а также аппаратное ускорение шифрования Advanced Encryption Standard (AES).

Данный продукт от компании Cisco имеет огромное количество положительных моментов, такие как влагозащитная и автоматическая настройка при добавлении точки в беспроводную сеть, но одно данное устройство стоит от 60 000 рублей, и работает только совместно с контроллерами беспроводного доступа Cisco и системой управления Cisco Wireless Control System (WCS), что увеличивает стоимость всей системы [8].

1.6 Альтернативные источники питания (электричества)

В 21 веке мы уже не можем представить свою жизнь без энергии. Села батарея на телефоне? Отключилась любимая электронная книжка? Нет возможности запечатлеть красивый закат, потому что у фотоаппарата низкий заряд аккумулятора? Нам всегда необходима розетка для подзарядки. А жизни при свечах, приготовление еды в печи, уют на углях – это мы можем представить в повседневной жизни уже с трудом. К сожалению, показатели потребления растут, а количество энергоресурсов ограничено. Сама энергия дорожает с каждым днем. Такие проблемы стимулируют развитие технологий добычи энергии из альтернативных, возобновляемых, дешевых источников. К таким источникам, в частности, относятся энергия солнца и ветра. На сегодняшний день альтернативные источники энергии уже широко востребованы для решения проблем энергоснабжения, как в крупных промышленных масштабах, так и для частных нужд. В наше время технологии получения энергии позволяют специалистам из неисчерпаемых источников строить дома с солнечными батареями и экологически чистой инфраструктурой в удаленных районах, что решает проблемы энерго-

снабжения уже отстроенных объектов. В таких домах всегда горит свет в подъездах, а в квартире тепло и всегда есть горячая вода.

Альтернативная энергетика – совокупность перспективных методик получения, передачи, а также использования источников энергии, которые распространены не так широко, как классические, но представляют интерес выгоды их применения, как правило, из-за низкого риска причинения вреда окружающей среде [11].

В Российской Федерации 26.03.2003 впервые принят Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части реализации мер поддержки производства электрической энергии с использованием торфа в качестве топлива, а также уточнения механизмов стимулирования использования возобновляемых источников энергии. Что дает ученым особый толчок к изучению новых альтернативных источников энергии.

1.6.1 Виды

В результате уменьшения мировых запасов невозполнимых источников энергии актуальным является поиск новых и внедрение известных альтернативных источников получения энергии. Среди основных альтернативных способов получения энергии, не претендуя на полный обзор методов, можно выделить следующие [12]:

- ветроэнергетика;
- гелиоэнергетика;
- гидроэнергетика;
- биоэнергетика.

Такие источники хорошо показали себя в работе и заслуживают особого внимания. Помимо них существует целый ряд менее востребованных и изученных источников. Например, грозовая энергетика, мускульная сила человека, управляемый термоядерный синтез, водородная энергетика, космическая энергетика и так далее.

1.6.2 Ветроэнергетика

Ветроэнергетика – это область энергетики, которая основана на преобразовании кинетической энергии ветра в электрическую. Такое преобразование обычно осуществляется всевозможными конструкциями ветрогенераторов. На данный момент этот метод является одним из самых распространенных источников альтернативной энергии. Основываясь на разных источниках, доля ветроэнергетики в общемировом производстве электроэнергии составляет примерно 5%, так считает мировая ассоциация ветроэнергетики (World Wind Energy Association — WWEA). Она же установила, что за прошедший год мощность ветровых электростанций в мире выросла на 52 552 мегаватт до 539 291 МВт. В некоторых странах Европы доля энергии, которая добывается с помощью ветрогенераторов, составляет более 40%. В следующей таблице представлены 16 стран-лидеров мировой ветроэнергетики по установленной мощности, а также суммарный показатель для «остального мира», то есть за пределами этих шестнадцати стран. При этом показана динамика за период 2013-2017 [13].

Для исправной и непрерывной работы ветрогенератора необходимо постоянное наличие воздушных масс, которые движутся со скоростью не менее 3 м/с, поэтому такие конструкции устанавливают в местах с постоянным наличием ветра, такие как прибрежные зоны, возвышенности, холмы, шельфы и тому подобное. Ветрогенераторы наших дней могут быть высотой более 100 метров, а диаметр лопастей составляет несколько десятков метров. Выходная мощность при номинальных режимах работы, при условии скорости ветра 10 м/с, составляет до 10 МВт.

По конструкции ветрогенераторы можно подразделить на горизонтальные и вертикальные. Вертикальное расположение более приемлемо, такие ветрогенераторы почти не издадут шума, могут работать при условии низкой скорости ветра от 1 м/с, а также служат до 20 лет. Но по историческим причинам боль-

шее распространение получили горизонтальные конструкции ветрогенераторов, напоминающие ветряные мельницы.

По словам гендиректора АЕnergy, одного из крупнейших российских игроков рынка альтернативной энергетики, Станислава Черница наша страна может получать 10 % энергии из ветра. Однако по сравнению с Соединенными Штатами Америки и странами Европейского Союза использование возобновляемых источников энергии в России находится на достаточно низком уровне. Это связано с тем, что в Российской Федерации присутствует достаточно традиционных ископаемых энергоносителей [14].

Если говорить о Красноярском крае, то подобный источник энергии реализован Сибирским отделением сотовой связи «МегаФон». В связи с обширными территориями Красноярского края проводить линию электропередачи до каждого населенного пункта или станции затратно, но обеспечивать мобильной связью автодороги и ЖД-магистрали необходимо. Было принято решение использовать удаленные базовые станции, электропитание которых производится именно с использованием силы ветра. Мощность установок 6 кВт, они обеспечивают 85 % времени подачи питания. Оставшееся время станция питается от аккумуляторов и штатного дизельного генератора [15]. Таким образом, с помощью альтернативной энергии, получаемую от силы ветра, компания «МегаФон» снизила затраты на проведение линий электропередач, а также выполнила задачу по улучшению экологии.

1.6.3 Гелиоэнергетика

Гелиоэнергетика или солнечная энергия – это получение тепловой и электрической энергии путем преобразования энергии солнца различными способами. Солнце испокон времен являлось одним из самых безопасных, неисчерпаемым и доступным в равной степени для всех источником энергии. Полное количество энергии, поступающей на Землю за год благодаря Солнцу, настоль-

ко высока, что превышает энергию мировых запасов нефти, газа, угля, урана, и других энергетических ресурсов [16].

Наиболее эффективными, с энергетической точки зрения, устройствами для превращения солнечной энергии в электрическую являются полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи, поскольку это прямой, одноступенчатый переход энергии. КПД производимых в промышленных масштабах фотоэлементов в среднем составляет 16 %. В лабораторных условиях уже достигнут КПД 43,5 % [11].

Несмотря на позитивную картинку использования этого источника, он имеет ряд недостатков. Во-первых, производство, установка и ремонт солнечных батарей, которые производят необходимую энергию, требуют больших финансовых затрат, ведь они сделаны из редких природных элементов, таких как индий и теллур. К тому же, площадь установки должна быть довольно внушительной. К примеру, чтобы обеспечить дом гелиоэнергетикой, следует покрыть солнечными батареями всю его крышу. Стоимость вырабатываемой фотоэлектрическими преобразователями электроэнергии составляет около 6-8 р/(кВт*ч), что примерно в 3-4 раза выше стоимости электроэнергии, получаемой в результате сгорания органических топлив [11]. Во-вторых, особое влияние на работу таких устройств оказывают погодные условия. Если нет солнца, то соответственно нет и солнечной энергии. К сожалению, этот метод добычи энергии особо нерентабелен в высоких широтах Земного шара, куда солнце заглядывает очень редко. Хотя некоторые эксперты считают, что на работу солнечных коллекторов погодные условия никак не влияют.

Мировые лидирующие позиции по установленной мощности гелиоэнергетики занимают страны Европейского союза, в частности Германия [17]. Ниже опубликованы данные опубликованные Европейской ассоциацией фотоэлектрической промышленности (EPIA) за 2012 год.

Не секрет, что европейские страны активно пропагандируют защиту экологии, это объясняет настоящий бум в сфере альтернативной энергетики. Ознакомьтесь со статистическими данными ее увеличению в Евросоюзе за 2012 год.

За этот год в Европе были установлены новые полупроводниковые фотоэлектрические преобразователи мощностью в 17 ГВт. Установку большей части устройств обеспечила Германия. При этом суммарная мощность европейской ветровой энергетики увеличилась на 12 ГВт, а газовых электростанций - на 5 ГВт. Одновременно из эксплуатации окончательно выводились электростанции, работающие на нефти и АЭС.

Что касается России, то здесь повторяется ситуация с ветроэнергетикой. В нашей стране достаточно природных ресурсов, чтобы обеспечивать себя электричеством. Но страна и наш регион все равно развивается в этом направлении. К примеру, в 2014 году в городе Дивногорск был сдан в эксплуатацию первый в

Красноярском крае «умный дом» на солнечных батареях. Эта система имеет гибридные особенности: зимой автоматически берёт тепло от сети. В подвале находятся специальные насосы, которые могут переводить не только солнечный свет, но и жаркий воздух в тепловую энергию. Специалисты подсчитали, что энергосберегающее оборудование окупится собственнику дивногорского дома через 20 лет, так как оно является импортным.

1.6.4 Гидроэнергетика

Гидроэнергетикой называют преобразование энергии водного потока в электрическую энергию. Вода, проходящая через турбину гидроэлектростанции, зажигает свет во многих домах, дает возможность пользоваться предметами быта и обеспечивает людей дешевым электричеством. Доля выработки электроэнергии за счет гидроэлектростанций в России составляет 16%. Этот способ добычи энергии самый востребованный в нашей стране и это не удивительно, ведь Российская Федерация богата своими водными ресурсами. Все началось в далеком 1920 году, когда был принят государственный план электрофикации Советского союза и начались массовые строительства гидроэлектростанций.

Почему выбрали именно этот вид альтернативной энергии? Это довольно дешевый путь добычи альтернативной энергии. Разумеется, постройка и ввод в

эксплуатацию масштабных гидроэлектростанций требует больших усилий и денежных вложений. Однако такие станции могут обеспечить электричеством целые мегаполисы. Существуют и микро-ГЭС, которые вырабатывают электроэнергию в небольших количествах, до нескольких десятков кВт, используя кинетическую энергии водных масс в ручьях, малых реках, водопадах. Принцип таких электростанций напоминает водяные мельницы, которые получили широкое распространение еще в Средневековье. Основной плюс малой гидроэнергетики в том, что его работа не зависит от погодных условий и в любое время года стабильно обеспечивает выработку электроэнергии [11]. Также к достоинствам малых ГЭС можно отнести невысокие риски затопления близлежащих территорий при аварийных ситуациях на станции.

Россия имеет немислимый гидропотенциал, полное освоение которого позволило полностью перейти на этот вид ресурса и отказаться от других источников электроэнергии. Увы, основная часть неиспользованного гидропотенциала находится в труднодоступных районах Восточной Сибири и на Дальнем Востоке. В Российской Федерации с помощью ГЭС вырабатывается почти 16% всей энергии. На сегодняшний день на территории страны работают 102 гидроэлектростанции мощностью свыше 100 МВт. Крупнейшая в России ГЭС называется Саяно-Шушенская, которая находится в Красноярском крае. Уложенного при строительстве плотины Саяно-Шушенской ГЭС бетона хватило бы на постройку автостраты от Санкт-Петербурга до Владивостока. По данным РусГидро, выработка электроэнергии Саяно-Шушенской ГЭС за 2017 год составила 23 238 ГВт·ч [18].

Однако у гидроэнергетики есть и свои недостатки. Строительство ГЭС имеет печальные последствия: при возведении плотины станции выше течения образуется водохранилище, которое затопляет все деревушки у берега реки. Это проблема поднята в повести Валентина Распутина «Прощание с Матёрой». Матёра – деревня, которая расположена на острове посередине реки Ангары. В связи с возведением Братской ГЭС деревня должна быть затоплена, а жители переселены. История основана на реальных событиях и отражает одну из глав-

ных проблем гидроэнергетики – затопление пахотных земель, имущества, а также риск прорыва гидроэлектростанции.

1.6.5 Биоэнергетика

Биоэнергетика – производство энергии из биотоплива различных видов. Биотопливом является обычный бытовой мусор на свалке, в частности, картон, бумага, продукты питания. Также отличным биоматериалом являются зерновые культуры. К примеру, для выработки этанола используются початки кукурузы. Соевые бобы, арахис и подсолнечник также применяются для получения дизельного биотоплива. Этанол, и биодизель можно применять как для производства электроэнергии, так и в качестве автомобильного горючего. Еще одним источником для добычи биогаза является канализационные отходы и навоз. Не стоит забывать про деревья и растения, которые при сжигании выделяют тепло для паровых турбин. Наиболее распространенный источник древесной биомассы – отходы деревообработки (лесопилок) и целлюлозно-бумажных комбинатов.

При сгорании углеводороды выделяют тепло, «парниковый» газ и воду. Газ возвращается в окружающую среду и участвует в биохимическом углеродном цикле, способствуя росту других растений и восполнению сожженной биомассы. Таким образом, сжигание биомассы при правильной организации процесса не приводит к дополнительному загрязнению окружающей среды. Вода возвращается в природный гидроцикл, круговорот воды в природе. Тепло можно использовать для выработки электричества, а также для удовлетворения других энергетических потребностей человечества [19].

Плюсы данного источника альтернативного питания очевидны. Во-первых, он крайне экологичен, при сгорании не выделяется вредных веществ и углекислого газа. Во-вторых, благодаря биоэнергетике можно уменьшить площади свалок, а отходы не причиняют вред и неудобство, а идут на пользу. Ненужным коробкам и использованной бумаге дается вторая жизнь и шанс помочь людям.

В-третьих, пока на Земле есть жизнь будет и биотопливо, которое можно смело назвать нескончаемым ресурсом. Главное, чтобы оставались люди, способные превратить биомассы в энергию. Одним из главных минусов является невозможность взращивания биотоплива в некоторых регионах планеты. К примеру, в пустынях такой вид источника энергии будет не совсем рентабельным.

К сожалению, Россия в биоэнергетике отстает от западных стран. Причины схожи и другими видами альтернативного питания в нашей стране. По данным Госкомстата РФ в настоящее время доля биоэнергетики в общей энергетической системе России составляет менее 3 % (по сравнению с Европой – 16 %). При этом выработка электрической энергии в 2015 г. на тепловых электростанциях с использованием биомассы составила менее 2 % от общей выработки электроэнергии в России [19].

Из общих примеров заинтересованности в данном виде энергии можно выделить Енисейский целлюлозно-бумажный комбинат, который является единственным предприятием в Красноярском крае по глубокой химической переработке древесины. Комбинат имеет отдельный цех по переработки отходов. Производственная мощность предприятия составляет 120 тыс. тонн в год бумаги для гофрирования, 215 тыс. тонн в год полуцеллюлозы.

1.7 Вывод по главе

В первой главе обоснована актуальность и необходимость использования MESH-сетей для быстрого и надежного покрытия определенной зоны. Сетевой протокол 802.11s, который используется при постройке MESH-сетей имеет преимущества перед протоколом 802.11 такие, как автоматическая маршрутизация, обеспечивающий такие возможности, как топология сети "каждый с каждым"; устойчивость при отказе отдельных компонентов; масштабируемость сети – увеличение зоны информационного покрытия в режиме самоорганизации; динамическая маршрутизация трафика, контроль состояния сети [2].

Найденные мною аналогичные готовые системы имеют много минусов в сравнении с системой, разрабатываемой в данной магистерской диссертации. Один из главных минусов — это большая стоимость готовых продуктов, так же некоторые из устройств можно использовать только в домашних условиях.

Так в данной главе были рассмотрены альтернативные источники питания, которые, в будущем, при дальнейших улучшениях готового устройства для построения mesh-сетей могут позволить ему работать совершенно без использования проводов, что упростит и увеличит скорость развертывания mesh-сети.

2 Проектирование системы

2.1 Выбор подходящего сетевого протокола

В сравнительной таблице 1 предоставлены 5 основных протоколов для построения MESH-сетей. Больше всего преимуществ имеет сетевой протокол CJDNS, но предпочтение было отдано сетевому протоколу B.A.T.M.A.N., так как ранее мне приходилось работать с данным протоколом. Так же разработка данного протокола уже закончена, это значит, что даже если и будут выходить какие-то обновления, которые могут повлиять на работоспособность между устройствами с разными версиями, то это будет происходить гораздо реже у протокола B.A.T.M.A.N. чем у CJDNS. Так же протокол CJDNS может работать только с IPv6. Сетевой протокол B.A.T.M.A.N. присутствует в стандартных де-позитариях linux систем, что упрощает его установку.

2.2 Выбор подходящего одноплатного микрокомпьютера

В сравнительной таблице 1 видно, что одноплатный микрокомпьютер Orange PI PLUS 2e имеет самую низкую стоимость и не самые плохие технические характеристики. Так же, при детальном рассмотрении устройства Orange PI PLUS 2e выяснилось, что у него внешняя антенна, а не встроенная, что позволяет изменить её при необходимости на более мощную.

У всех перечисленных устройств встроенный Wi-Fi модуль не может одновременно принимать и раздавать Wi-Fi. Поэтому за прием Wi-Fi будет отвечать встроенный Wi-Fi модуль, а для режима точки доступа будет использоваться Wi-Fi USB адаптер TP-LINK PL-WN722N.

2.3 Операционная система

На официальном сайте компании Orange представлен полный список различных операционных систем для различных одноплатных микрокомпьютеров, выпускаемых данной компанией. Для выбранного нами Orange Pi PLUS 2E доступны для скачивания и дальнейшей установки такие операционные системы как Raspbian, Ubuntu LXDE Desktop, Debian XFCE Desktop, Android(Orange OS), Lubuntu, Armbian, Ubuntu Server. Произвести загрузку выбранного дистрибутива доступно с 2х и более различных файлохранилищ.

Ubuntu Server является самой оптимальной операционной системой для устройства с возможностью построения mesh-сети так как на данной операционной системе нет ничего лишнего, например Network Manager, который последнее время присутствует почти во всех образах Linux систем. И с операционной системой Ubuntu Server уже приходилось работать при прохождении обучения по специальности вычислительные машины, комплексы и сети. Но на официальном сайте компании Orange, на момент написания магистерской диссертации отсутствовала возможность загрузить образ Ubuntu Server по неизвестным причинам. В описании к образам операционных систем Ubuntu LXDE Desktop и Lubuntu отсутствовали данные для входа в систему. Поэтому был выбран образ операционной системы Armbian. Armbian – это операционная система на базе Linux, разработанная специально для одноплатных микрокомпьютеров.

2.4 Режим AD HOC

Для настройки сетевых интерфейсов необходимо воспользоваться режимом AD HOC. В режиме Ad Hoc (рисунок 7) клиенты устанавливают связь непосредственно друг с другом. Устанавливается одноранговое взаимодействие

по типу «точка-точка», и компьютеры взаимодействуют напрямую без применения точек доступа. При этом создается только одна зона обслуживания, не имеющая интерфейса для подключения к проводной локальной сети.

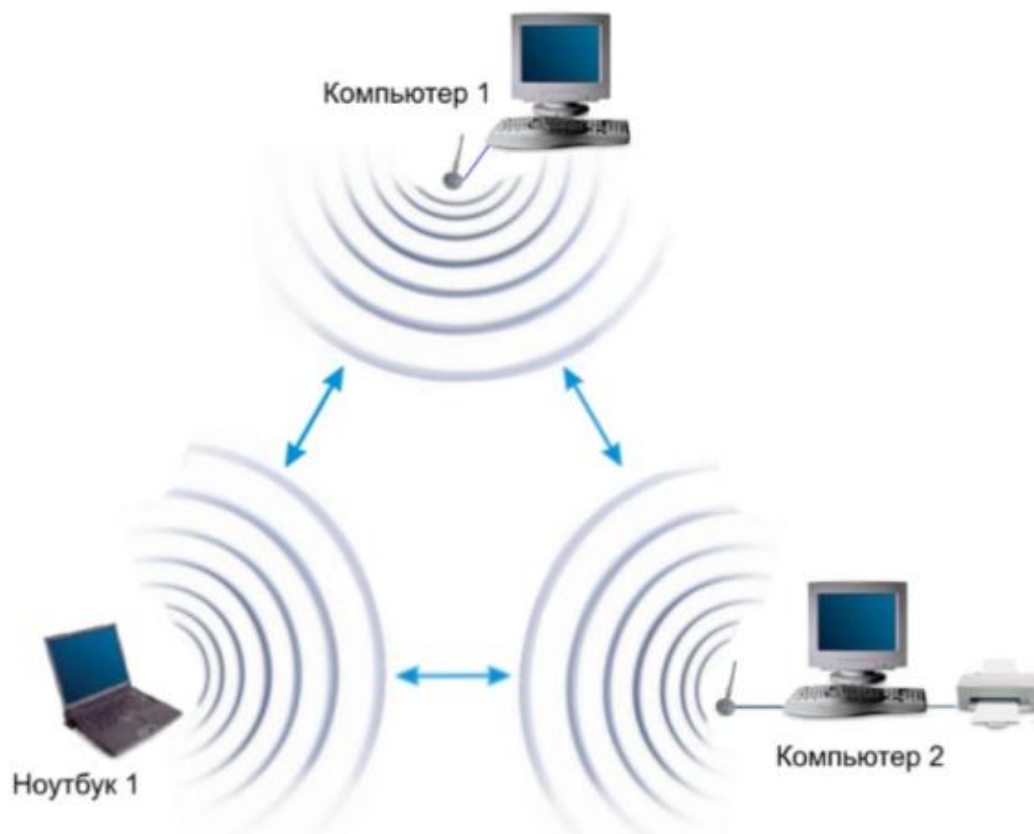


Рисунок 7 - Режим AD НОС

Основное достоинство данного режима – простота организации: он не требует дополнительного оборудования (точки доступа). Режим может применяться для создания временных сетей для передачи данных. Однако необходимо иметь в виду, что режим Ad Нос позволяет устанавливать соединение на скорости не

более 11 Мбит/с, независимо от используемого оборудования. Реальная скорость обмена данных будет ниже, и составит не более $11/N$ Мбит/с, где N – число устройств в сети. Дальность связи составляет не более ста метров, а скорость передачи данных быстро падает с увеличением расстояния [5].

Топология сети может временами непредсказуемо меняться по различным причинам: как из-за того, что работающие узлы мобильны, так и из того, что некоторые из неподвижных узлов могут выйти из строя и перестать работать. Время от времени в подобной сети происходят изменения, вследствие чего изменяется расстояние между соседними узлами. Именно поэтому Ad Hoc сети принято называть также эпизодическими сетями. Зачастую в качестве эпизодической сети выступает именно беспроводная сеть. Эпизодическая сеть является одноранговой, это означает, что каждый узел в сети наделен одинаковыми функциями. Каждое из таких устройств может общаться с любым другим, и в этом случае не предусмотрено отдельной базовой станции или точки доступа. Однако в случае, если возникнет необходимость подключения этой Ad Hoc сети к другой сети, например, такой, как Интернет, один из этих узлов эпизодической сети может наделяться правами базовой станции или некоторого координатора этой сети [6].

2.5 DHCP сервер

Для того, чтоб система была полностью автономной и не зависела от других устройств, было принято решение, на одном из устройств установить DHCP сервер. DHCP - сетевой протокол, позволяющий компьютерам автоматически получать IP-адрес и другие параметры, необходимые для работы в сети TCP/IP. Данный протокол работает по модели «клиент-сервер».

Техническая реализация службы DHCP предполагает, что в сети есть как минимум один DHCP-сервер, который управляет процессом назначения сетевых параметров рабочим станциям в компьютерной сети. Взаимодействие рабочих станций и сервера осуществляется согласно логике 4 этапов.

1. Обнаружение сервера. На этом этапе рабочая станция, желая получить параметры сети, отправляет широковещательный запрос с целью обнаружить доступные DHCP-серверы. Как правило, такой запрос отправляется в процессе включения рабочей станции — загрузки операционной системы.

2. Предложение. Сервер, получив запрос, подбирает конфигурацию для рабочей станции и отправляет свое предложение, используя аппаратный адрес компьютера, с которого пришел запрос. Заметим, что на этом этапе свои предложения подготовят несколько DHCP- серверов, если они существуют в компьютерной сети.

3. Запрос. Рабочая станция, получив разные предложения от DHCP-серверов, выбирает наиболее подходящее из них и отправляет запрос на выбранную конфигурацию соответствующему серверу.

4. Подтверждение. DHCP-сервер, получив запрос на использование конфигурации, отправляет подтверждение рабочей станции, фиксируя в своей базе данных, что конфигурация закреплена. Рабочая станция, получив подтверждение, настраивает свой сетевой интерфейс согласно выбранной конфигурации.

В качестве сервера DHCP в компьютерных сетях могут использоваться машины, работающие под управлением Windows Server, Linux, FreeBSD или других серверных операционных систем, а также аппаратные устройства, такие как маршрутизаторы и точки доступа. Минимальная настройка сервера DHCP заключается в определении диапазона свободных IP-адресов (эти адреса будут назначаться рабочим станциям), а также других обязательных параметров протокола TCP/IP (маска, шлюз по умолчанию, адреса серверов DNS) [7].

2.6 Требования для работоспособности Mesh сети

Для полноценной работы Wi-Fi MESH сетей необходимо минимум 2 устройства. На обоих должна быть произведена первоначальная настройка, но на основном устройстве, в которое, например, может быть подключён Ethernet кабель для доступа в интернет, должен быть дополнительно установлен и настроен DHCP сервер для того, чтоб пользователи могли без дополнительных настроек, автоматический получать ip адрес и полноценно пользоваться построенной MESH сетью.

2.7 Вывод по главе 2

Одноплатный микрокомпьютер Orange PI Plus2E с операционной системой, разработанной специально для микрокомпьютеров, Arambian, обеспечивает возможность постройки mesh-сети, с использованием сетевого протокола В.А.Т.М.А.Н.

3 Подготовка и настройка устройства к использованию

Так как было принято решение для построения MESH-сети использовать одноплатный компьютер Orange Pi PLUS 2E с операционной системой Arambian то, необходимо, перед установкой и настройкой сетевого протокола для MESH-сетей CJDNS установить на устройство саму операционную систему.

3.1 Запись образа на карту памяти

3.1.1 Создание загрузочной MicroSD из Windows

Записать выбранный образ операционной системы для Orange Pi PLUS 2E на MicroSD-карту можно с помощью программы Win32 Disk Imager. Указываем путь до скачанного образа операционной системы и запускаем запись нажатием в программе кнопку Write. Но, перед записью образа необходимо произвести полную очистку MicroSD-карты, для этого можно воспользоваться программой SDFormatter.

3.1.2 Создание загрузочной MicroSD из Mac OS

Запись образа Ubuntu из Mac OS можно выполнить при помощи стандартных системных утилит. Для начала необходимо определить путь к диску, но не к его разделу. Узнать путь можно с помощью команды *diskutil list*. Далее необходимо с помощью команды *diskutil unmountDisk /dev/disk**, где *- номер диска, размонтировать сам выбранный в предыдущем шаге диск. При записи образа на MicroSD-карту, для безопасности путь к диску необходимо изменить, с *dev/disk** на */dev/rdisk**, что означает "removable". Это позволит провести до-

полнительную проверку на то, что запись будет производиться именно на съёмный носитель, а не локальный диск. Команда для записи выглядит следующим образом: `sudo dd bs=1m if=~/*.img of=/dev/rdisk*`, где `if=` - Путь с образа ОС, `of=` - Путь к диску, место назначения.

3.1.3 Создание загрузочной MicroSD из Ubuntu OS

После загрузки образа и его распаковки в любое удобное место необходимо определить системный путь к карте памяти с помощью команды `df -h`. Далее нужно размонтировать все разделы карты примонтированные автоматический `umount /dev/mmcblk*`. Выполняем запись образа на карту памяти командой `sudo dd bs=4M if=~/*.img of=/dev/mmcblk*`, где `if=` - Путь к образу ОС, `of=` - Путь к диску, место назначения, `bs=4M` размер блока данных (чем больше – тем быстрее запись).

3.2 Настройка устройства

3.2.1 Первый Запуск устройства

Для первого запуска устройства необходимо вставить в него подготовленную MikroSD карту в специальный слот. В последних релизах образа Arambian отключен сетевой протокол SSH позволяющий проводить удаленное управление операционной системой [1]. Из-за отсутствия установленного сетевого протокола SSH для первого запуска потребуется монитор с HDMI входом и клавиатура. Подключив все в Orange Pi PLUS 2E можно производить его запуск путем подключения блока питания устройства в розетку.

При включении устройства необходимо ввести указанный в месте загрузки образа логин и пароль. После входа в систему необходимо ее обновить командами `sudo apt-get update` и `sudo apt-get upgrade`.

3.2.2 Установка и настройка сетевого протокола SSH

Для удобства настройки и дальнейшей работы с устройством на него необходимо установить службу SSH с помощью которого находясь в одной сети с устройством можно получить удаленный доступ к нему. Служба считается стандартной и используется почти везде, но по умолчанию ее в дистрибутиве нет, но зато она есть в официальных репозиториях. Установить ее можно с помощью команды `sudo apt-get install openssh-server`. И для того, что бы служба включалась автоматический необходимо выполнить команду `sudo systemctl enable sshd`. После установки SSH можно узнать ip адрес устройства с помощью команды `ifconfig`, или посмотреть новые устройства, подключенные к вашему маршрутизатору. Так же больше не потребуется монитор и клавиатура [9].

3.2.3 Настройка внешнего Wi-Fi адаптера

Встроенный Wi-Fi модуль в Orange Pi PLUS 2E не имеет возможность одновременно работать как Wi-Fi клиент и Wi-Fi точка доступа. Поэтому встроенный модуль будем использовать как Wi-Fi Ad-hoc, а внешний сетевой адаптер как Wi-Fi точка доступа.

В операционной системе уже имеется встроенный Network Manager, с его помощью создаем точку доступа Access Point (рисунок 8).

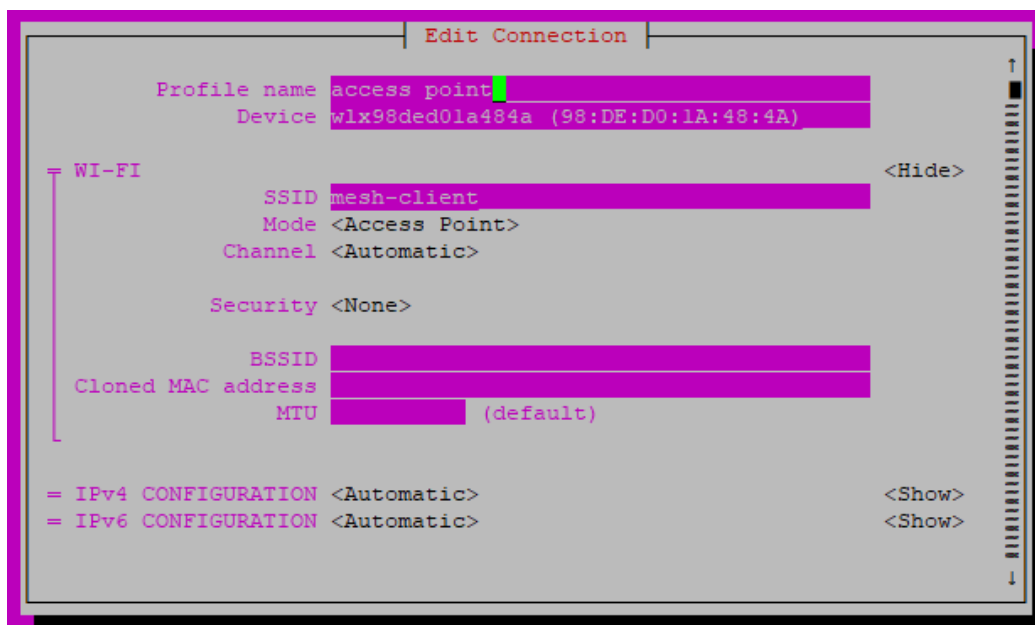


Рисунок 8 – Access Point

Остальные поля, в том числе и пароль для доступа, оставляем с значениями по умолчанию. К данной точке доступа именем *mesh-client*, после окончательной настройки будут подключаться пользователи.

3.2.4 Настройка DHCP сервера

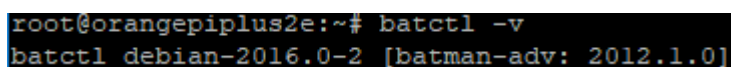
Для установки DHCP сервера на главное устройство необходимо воспользоваться командой `sudo apt-get install isc-dhcp-server`. Затем для настройки DHCP сервера прописываем в конфигурационный файл `/etc/dhcp/dhcpd.conf` необходимые настройки, в данном случае DHCP сервер будет раздавать IP адреса из диапазона 192.168.1.100-192.168.1.200 (рисунок 9).

```
subnet 192.168.1.0 netmask 255.255.255.0 {
    range 192.168.1.100 192.168.1.200;
    option routers 192.168.1.1;
}
```

Рисунок 9 – Настройки DHCP

3.2.5 Настройка B.A.T.M.A.N. Advanced

Настройка сетевого протокола B.A.T.M.A.N. производится при помощи утилиты *batctl*. Данная утилита присутствует в стандартном депозитории, для её установки воспользуемся командой *sudo apt-get install batctl*. После удачной установки можно выполнить проверку командой *batctl -v*, результат должен быть следующий *batctl debian-2016.0-2 [batman-adv: module not loaded]* . Это означает, что *batctl* работает и имеет версию 2016.0-2, но модуль ядра *batman-adv* не загружен. Далее необходимо загрузить модуль ядра выполнив команду *modprobe batman-adv* , после выполнения команды выполняем проверку еще раз (рисунок 10).



```
root@orangepiplus2e:~# batctl -v
batctl debian-2016.0-2 [batman-adv: 2012.1.0]
```

Рисунок 10 – проверка работоспособности утилиты *batctl*

Далее необходимо настроить сетевой интерфейс, в данном случае это встроенный модуль Wi-Fi. С помощью утилиты *nmtui* (рисунок 11) создаем точку доступа выбрав режим Ad-Нос. Канал можно выбрать любой главное, чтобы у всех участников MESH сети он был одинаковый. Саму сеть оставляем открытой, без пароля. Идеологически правильно оставить сеть открытой, чтобы любой желающий мог в ней участвовать.

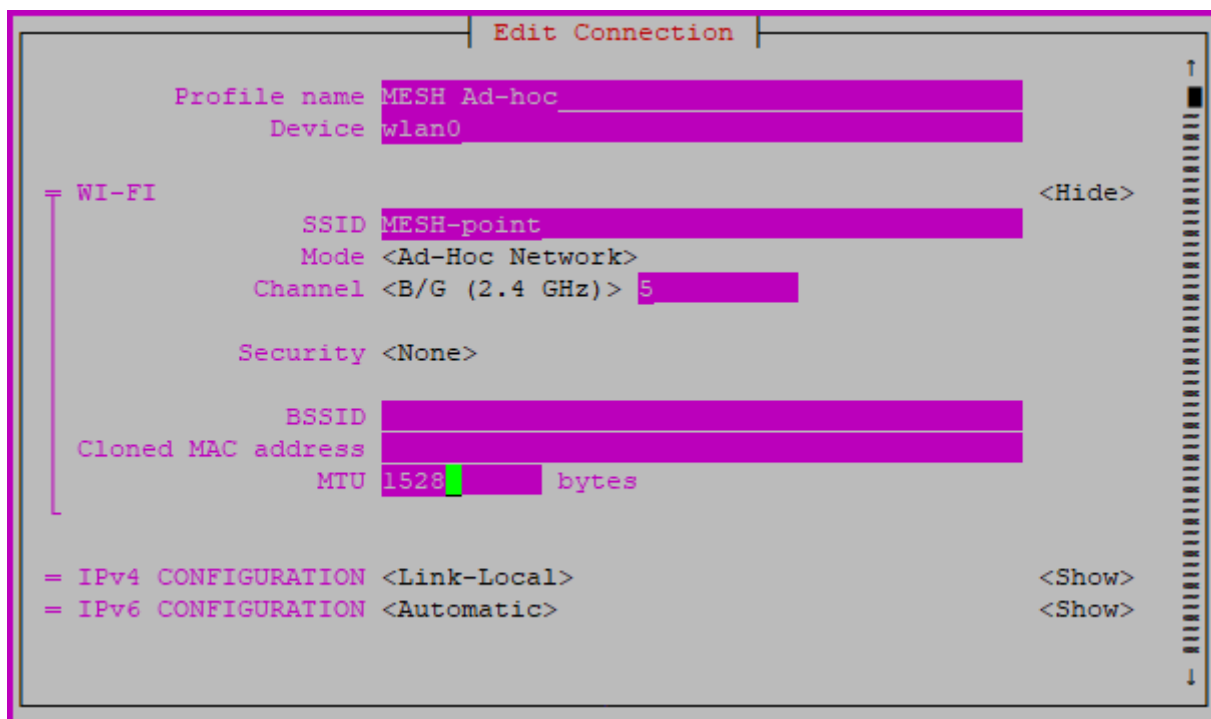


Рисунок 11 – режим Ad-Нос

MTU можно оставить стандартный – 1500, но тогда будут приходить предупреждения от протокола о фрагментации пакетов. Рекомендуемое значение именно – 1528.

Последним действием, для того чтобы Mesh-сеть заработала, указываем настроенный беспроводной адаптер в утилите *batctl* следующим образом: *batctl if add wlan0*.

Для того, чтобы каждый раз при включении не проделывать все вышеперечисленные действия необходимо сделать так, чтобы при установке соединения через Network Manager автоматический выполнялась команда добавления интерфейса в утилиту *batctl*. Сделать это можно разместив нужный скрипт (рисунок 12) в папке */etc/NetworkManager/dispatcher.d*, после любого сетевого события (подключение, отключение, и т.д.) Network Manager запускает скрипты из данной папки.

```
GNU nano 2.5.3 File: /etc/NetworkManager/dispatcher.d/02batman-adv Modified
#!/bin/sh -e
IF=wlan0
STATUS=$2
batctl if add $IF;
```

Рисунок 12 – Автоматическое добавление сетевого интерфейса при любом событии в Mesh-сеть.

4. Тестирование системы

Для тестирования устройства для построения mesh-сетей необходимо 3 настроенных устройства.

4.1 Критерии оценки работоспособности устройства

Критериями оценки работоспособности устройства для построения mesh-сетей являются такие показатели как:

- Обнаружение других устройств в сети
- Способность перестраивать маршрут сети
- Раздача пользователям доступа к сети

4.2 Проведение эксперимента

Первым делом необходимо разместить устройства таким образом, чтоб 2 устройства находились в видимости друг у друга, а третье разместить так, чтоб его обнаруживало только одно из устройств (рисунок 13).

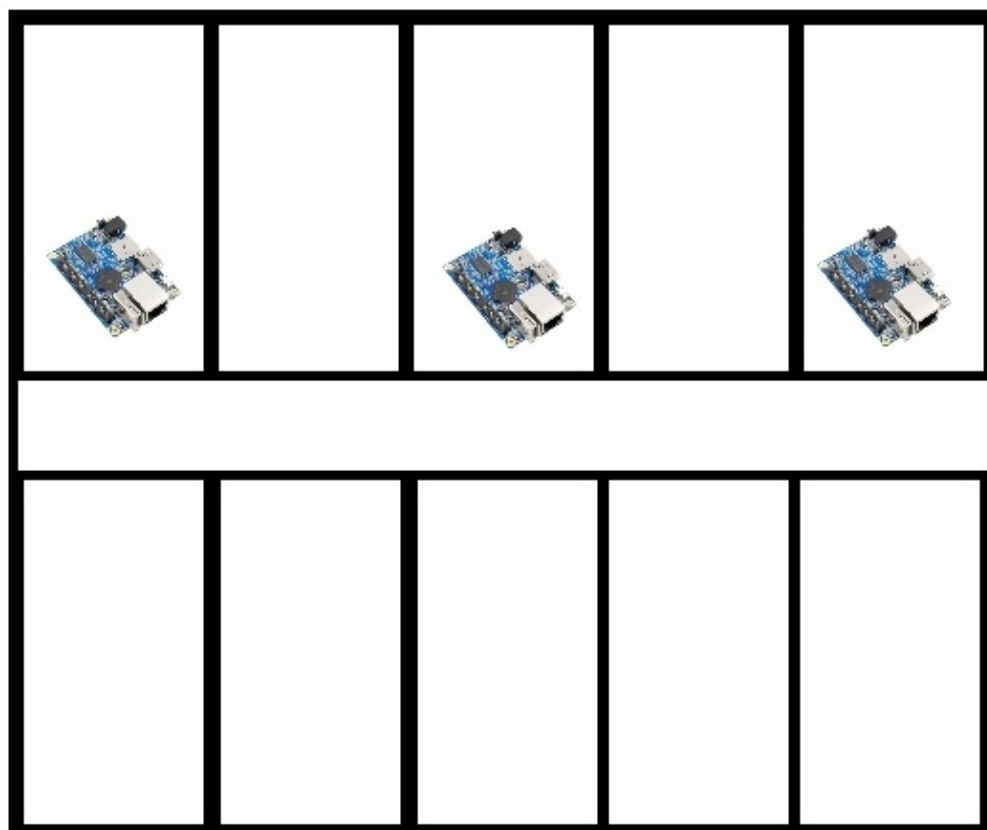


Рисунок 13 – схема размещения устройств для тестирования mesh-сети

Практический эксперимент проводился на территории опытно-конструкторского бюро “МИКРОН” в административном здании. Каждая из комнат отделена от другой металлической стеной, так как само здание состоит из контейнеров для морских перевозок. Металлические стены сильно сокращают радиус действия сигнала Wi-Fi. Для наглядности, воспользовавшись программой *WiFi Heatmap* на устройстве с операционной системой Android, был произведен замер уровня сигнала сети Wi-Fi при включенном только одном из устройств (рисунок 14).

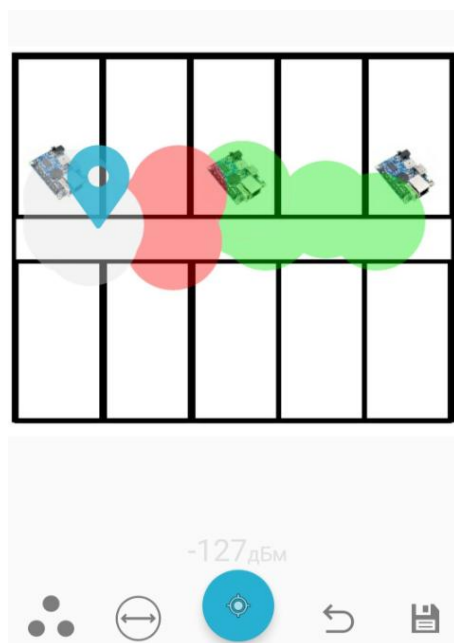


Рисунок 14 – Уровень сигнала Wi-Fi при включенном одном устройстве

Включив все устройства, зона покрытия Wi-Fi увеличилась (рисунок 15).

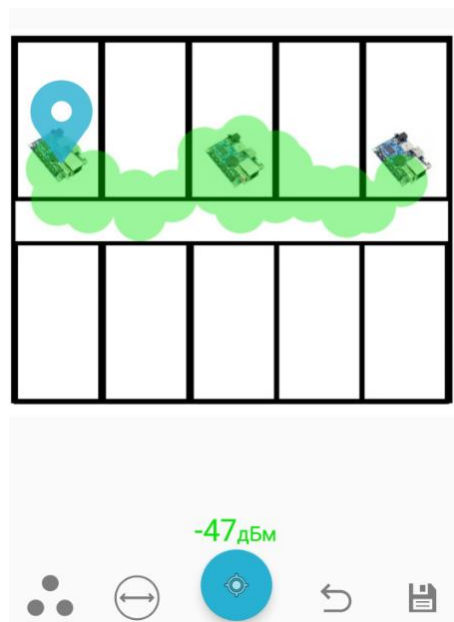


Рисунок 15 – Уровень сигнала Wi-Fi при включенных всех устройствах

Далее, для проверки, обнаружило ли устройство соседей, подключимся к одному из них с помощью SSH и введем команду *batctl o* (рисунок 16).

```

root@orangeplus2e:~# batctl o
[B.A.T.M.A.N. adv 2012.1.0, MainIF/MAC: wlan0/36:03:cf:a7:dc:23 (bat0)]
  Originator      last-seen (#/255)      Nexthop [outgoingIF]:  Potential
nexthops ...
b8:27:3a:ab:15:42    0.924s (250)  b8:27:3a:ab:15:42 [      wlan0]: b8:27:3a:ab
:15:42
b8:27:eb:8b:ee:7e    1.104s (243)  b8:27:eb:8b:ee:7e [      wlan0]: b8:27:eb:8b
:ee:7e

```

Рисунок 16 – результат команды batctl o

Результат команды *batctl o* вывел сообщения в котором указано что устройство видит двух соседей, это говорит о том, что mesh-сеть работает.

Для наглядности и более подробной информации воспользуемся приложением для ОС Android *WiFi Analyzer* (рисунок17). Замеры производились от устройства, расположенного по середине.

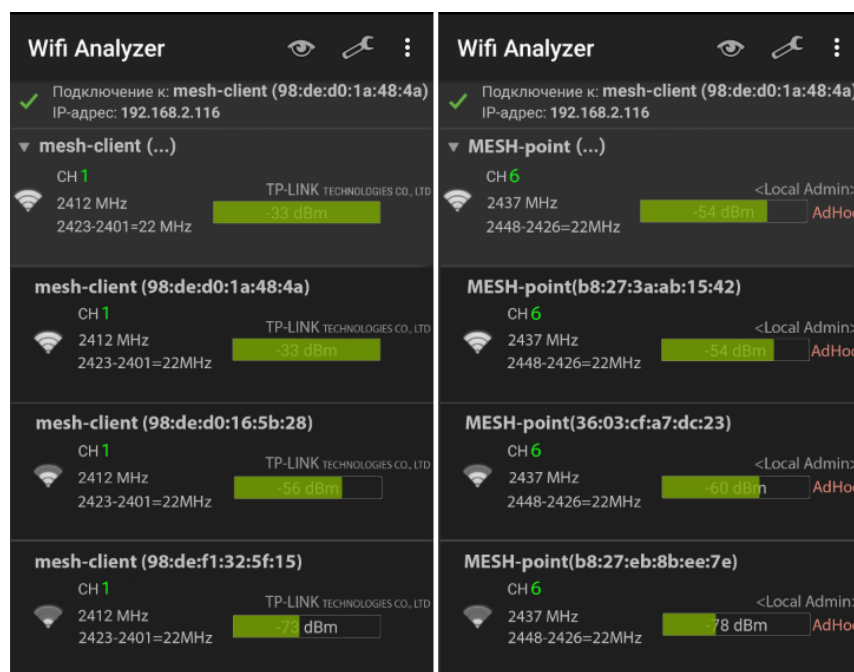


Рисунок 17 – WiFi Analyzer

На рисунке 17 видно, что устройство, с которого производились замеры подключено к Wi-Fi сети *mesh-client* и так же получило ip адрес 192.168.2.116, что говорит о том, что пользователи, подключающиеся к данной сети будут

иметь свой ip адрес и будут иметь доступ к всей сети. В данном эксперименте DHCP сервер использовался на другом оборудовании и раздает он адреса в диапазоне 192.168.2.3-192.168.2.230. Так же на рисунке 17 видно, что существует именно 3 точки доступа с именем *mesh-client* и 3 точки с режимом работы Ad Hoc с именем *MESH-point*.

Для проверки возможности перестройки маршрутов поменяем местами 2 устройства и произведем замеры с помощью *WiFi Analyzer*.

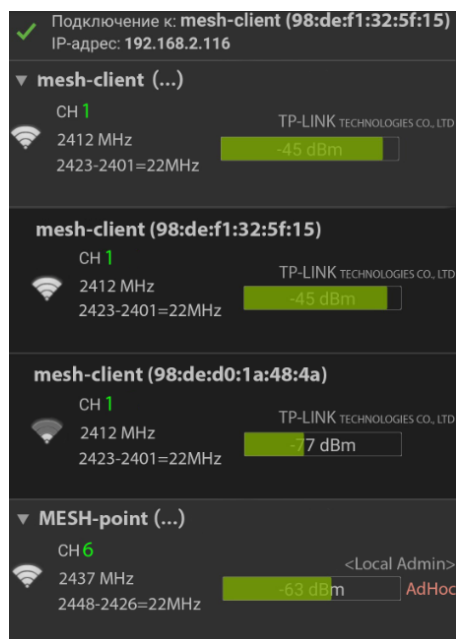


Рисунок 18 – Первоначальное расположение устройств



Рисунок 19 – Расположение устройств после замены

Чтоб провести данный эксперимент, необходимо подойти к крайнему устройству, подключится к сети *mesh-client* и с произвести замер с помощью *WiFi Analyzer* (рисунок 18). На рисунке 20 видно, что есть подключение к устройству с MAC адресом 98:de:d0:1a:48:4a. Устройство расположенное посередине имеет MAC адрес 98:de:f1:32:5f:15. После перемещения устройств повторяем замеры (рисунок 19) и видим, что MAC адрес устройства, к которому произошло подключение изменился, и остался прежний ip адрес, который сделан статическим на DHCP сервере. Проведенный эксперимент говорит о том, что после замены устройств местами, они все равно построили сеть между собой, а это доказывает, что построенная сеть имеет возможность перестраивать маршруты.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Mesh-сеть, построенная по принципу ячеек, в которой рабочие станции соединяются с друг другом и способны принимать на себя роль коммутаторов для остальных участников является достаточно сложной в настройке, однако при такой топологии, у построенной сети реализуется высокая отказоустойчивость, так как при обрыве одного из соединений, остальные продолжают функционировать перестроив маршрут минуя потерянный узел.

Проведя ряд практических экспериментов, удалось доказать, что разработанный прототип, на базе одноплатного микрокомпьютера OrangePi Plus2E с операционной системой Armbian и при использовании сетевого протокола В.А.Т.М.А.Н, отвечает всем требованиям к Mesh- сетям.

Помимо этого, был проведен теоретический разбор альтернативных источников питания. Разобрав все способы добычи электричества самым оптимальным видом по соотношению цена/эффективность/размер для прототипа устройства для постройки Mesh-сетей является гелиоэнергетика или солнечная энергия.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Олифер, В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. Изд. 4-е. - Санкт- Петербург : Питер, 2010. - 944 с.
2. Нанс, Б. Компьютерные сети от А до Я/ Б. Нанс. - Москва : БИНОМ, 2006. - 400 с.
3. Осипов, И.Е. Mesh-сети: технологии, приложения, оборудование // Технологии и средства связи. – 2006. – № 4. – с. 39-45.
4. Perkins C., Bhagwat P. Highly Dynamic Destination Sequenced Distance Vector Routing (DSDV) for Mobile Computers. // Computer Communication Review. – 1994. – № 4. – с. 234-244.
5. Пролетарский, А. В. Беспроводные сети Wi-Fi / А. В. Пролетарский // Интернет-Университет Информационных технологий; БИНОМ; Лаборатория знаний. – 2007. – с. 28-32.
6. Филиппов, А. Н. Свойства и характеристики Ad Hoc сетей [Электронный ресурс] // Молодой ученый. – 2016. – №11. – С. 522-525. – Режим доступа: <https://moluch.ru/archive/115/31245>.
7. Сергеев, А. Основы локальных компьютерных сетей / А. Сергеев – Санкт- Петербург : Лань, 2016. – 184 с.
8. Cisco Aironet 1500 [Электронный ресурс] // Univers system integration. – Режим доступа: https://www.unisi.ru/products/cisco/wireless/cisco_aironet_1500.php.
9. Ylonen, T. SSH Protocol Architecture [Электронный ресурс] // Network Working Group. – 2006. – С. 1-5. – Режим доступа: <https://tools.ietf.org/html/rfc4251>.
10. Пищин, О. Н. Альтернативные сети сигнализации и контроля функциональности систем подвижной радиосвязи / О. Н. Пищин [Электронный ресурс] // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Управление, вычислительная техника и информатика. – 2010. – Режим доступа:

<https://cyberleninka.ru/article/n/alternativnye-seti-signalizatsii-i-kontrolya-funktsionalnosti-sistem-podvizhnoy-radiosvyazi>.

11. Древаль, М. А. Альтернативные источники энергии / М. А. Древаль // Язык и мировая культура: взгляд молодых исследователей: сборник материалов XIV Всероссийской научно-практической конференции, г. Томск, 26-28 апреля 2014 г. : в 2 ч. – Томск : Изд-во ТПУ, 2014. – Ч. 2. – С. 179-182.
12. Саликеева, С. Н. Обзор методов получения альтернативной энергии / С. Н. Саликеева, Ф. Т. Галеева [Электронный ресурс] // Вестник Казанского технологического университета. КиберЛенинка – научная электронная библиотека. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/obzor-metodov-polucheniya-alternativnoy-energii>.
13. Сидорович, В. Ветроэнергетика: итоги глобального развития в 2017/ В. Сидорович [Электронный ресурс] // Журнал RenEn – инновации в энергетике – Режим доступа: <http://renen.ru/wind-energy-the-results-of-global-development-in-2017/>.
14. Поспелова, Е. В Подмосковье не пойдет / Е. Поспелова [Электронный ресурс] // Деловая газета «Взгляд» от 12.07.2010 – Режим доступа: <https://vz.ru/economy/2010/7/12/417730.html>.
15. Пятков, А. Г. Потенциал ветроэнергетики в Красноярском крае / А.Г. Пятков, О.В. Тасейко [Электронный ресурс] // Журнал «Актуальные проблемы авиации и космонавтики» – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/v/potentsial-vetroenergetiki-v-krasnoyarskom-krae>.
16. Мукашев, Б. Н. Полупроводниковая гелиоэнергетика: состояние и перспективы развития элементной базы / Б. Н. Мукашев, А.А. Бетекбаев [Электронный ресурс] // Вестник НАН РК, 2011 – Режим доступа: <http://nbilib.library.kz/elib/library.kz/journal/Mukasheva.pdf>.
17. Рютер, Г. Мировая солнечная энергетика: переломный год / Г. Рютер, А. Гурков [Электронный ресурс] // Журнал «Deutsche Welle» от 29.05.2013 – Режим доступа: <http://p.dw.com/p/18g0r>.

18. Выработка электроэнергии группой РусГидро 2017 [Электронный ресурс] : Официальный сайт энергетического холдинга «РусГидро» – Режим доступа: <http://www.rushydro.ru/activity/marketing/production/generation/2017/>.
19. Попова, М. В. Биоэнергетика / М. В. Попова, Д. Ю. Руди [Электронный ресурс] // Эффективное и качественное снабжение и использование электроэнергии: сб. докл. 5-й междунар. науч.-практ. конф. в рамках специализир. форума «Евро Build Russia» (Екатеринбург, 14 апреля 2016 г.). – Екатеринбург : Издательство УМЦ УПИ, 2016. — С. 26-28. Режим доступа – http://elar.urfu.ru/bitstream/10995/40290/1/eksie_2016_08.pdf.
20. Network bridge (Сетевой мост) [Электронный ресурс] // Сотовая связь. – Режим доступа: <http://celnet.ru/bridge.php>.